



PEREKAYASAAN SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI REAKTOR NUKLIR

Djoko Hari Nugroho¹, Puji Santoso², Khairul Handono³, dan Dian Fitri Atmoko⁴

^{1,2,3,4}Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Kawasan Puspipstek Gd no 71, Tangerang Selatan

ABSTRAK.

PEREKAYASAAN SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI REAKTOR NUKLIR. Kegiatan ini merupakan perekayasaan multiyears (2010 - 2014) dengan tujuan agar diperolehnya kemampuan sumber daya manusia dan infrastruktur dalam melakukan perekayasaan dan inovasi sistem instrumentasi kendali reaktor nuklir. Pada tahun anggaran 2011 dilakukan Perekayasaan Sistem Instrumentasi kendali Reaktor Nuklir pada tingkat Local Controller yang diterapkan pada model sistem pendingin reaktor. Keluaran kegiatan adalah diperolehnya prototype sistem instrumentasi dan kendali serta Human Machine Interface reaktor nuklir tingkat local controller dan implementasinya pada model sistem pendingin primer reaktor riset. Metodologi yang dipergunakan adalah melakukan pemodelan sistem dan prototyping fasilitas. Perekayasaan system instrumentasi dan kendali pada reaktor nuklir direpresentasikan pada simulator elektronik berbasis multifunction RIO module 200kS/sec yang dibangun di dalam NI PXI-1031 4-slot 3U chassis dengan menggunakan pemrograman LabVIEW. Dalam konfigurasi ini komputer PC bertindak sebagai modul yang merepresentasikan model matematika reaktor nuklir dan perangkat keras berbasis NI sebagai kontroler. Simulasi sinyal elektronik dapat diukur dari point pengukuran, dan luaran HMI dapat dilihat pada monitor PC.

Kata Kunci :

perekayasaan, sistem instrumentasi dan kendali, reaktor riset, local controller

ABSTRACT.

INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEMS ENGINEERING ON THE NUCLEAR REACTOR. This activity is a multiyear engineering activity from FY 2010 up to 2014. The aim of the activity is to improve the human resources and infrastructure capability in performing engineering and innovation of the nuclear reactor instrumentation and control system. Nuclear reactor instrumentation and control system engineering at the Local Controller level has been conducted to the model of the reactor coolant system in FY 2011. Output of the activity is prototype of instrumentation and control system, Human Machine Interface for nuclear reactor local controller level, and the implementation to the model of research reactor primary coolant system. Methodology used in this activity is to perform system modeling and prototyping. Instrumentation and control system engineering in a nuclear reactor is represented in the electronic simulator which consists of multi function module RIO 200kS/sec built in the NI PXI-1031 3U4-slot chassis with LabVIEW programming. In this configuration, mathematical model of the nuclear reactor is represented on the Personal Computer, and NI hardware is utilized as controller. The electronic signals can be measured from the point of measurement in the system, while HMI and output can be viewed on the PC monitor

Keyword: engineering, instrumentation and control systems, research reactors, the local controller

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka program energi BATAN yang bertujuan untuk mendukung program pembangunan PLTN di Indonesia, maka diperlukan penguasaan akan desain reaktor riset dan reaktor daya yang didukung oleh SDM yang berkualitas. Tujuan dasar pengoperasian pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) adalah memproduksi listrik pada kondisi ekonomik optimal dengan penekanan utama pada jaminan keselamatan terhadap publik, pekerja dan lingkungan. Kriteria keselamatan yang dipakai dalam desain dan operasi suatu reaktor nuklir adalah konsep defence in depth. Berdasarkan INSAG-10, konsep ini memiliki lima tingkatan, dimana tingkat pertama terkait dengan pencegahan operasi abnormal dan kegagalan melalui jaminan/standar kualitas komponen



dan sistem, tingkat kedua terkait dengan pengendalian operasi abnormal dan deteksi kegagalan, tingkat ketiga terkait dengan pengelolaan kecelakaan agar masih tetap berada dalam dasar desain, tingkat keempat terkait dengan pengendalian terhadap kondisi kecelakaan parah instalasi, sedangkan tingkat kelima terkait dengan mitigasi konsekuensi radiologis pelepasan material radioaktif.

Sesuai perkembangan teknologi, maka instrumentasi dan kendali digital telah dikembangkan untuk meningkatkan otomatisasi dan fault tolerance untuk meningkatkan ketersediaan (*availability*), mengurangi resiko kecelakaan, dan menurunkan ongkos operasi. Keunggulan ini direpresentasikan pada pengembangan instrumentasi, kontrol, manajemen informasi, dan sistem pengambilan keputusan yang menggunakan dan mengadaptasi kemajuan teknologi instrumentasi dan kontrol digital, komunikasi, dan teknologi antarmuka manusia-mesin termasuk peralatan analisis mikro dan “smart” sensor, validasi signal on-line, dan sistem pengawasan (monitoring).

Dengan latar belakang seperti tersebut di atas, usia instrumentasi dan kendali reaktor milik BATAN yang sudah semakin tua dan mempertimbangkan pasokan pasar instrumentasi dan kendali nuklir yang semakin mahal, maka diperlukan kemampuan mandiri untuk melakukan pengelolaan, perawatan, inovasi dan perekayasaan terkait instrumentasi dan kendali nuklir di BATAN. Untuk mencapai penguasaan desain dan menghasilkan inovasi terkait instrumentasi dan kendali reaktor riset diperlukan SDM yang handal dan perangkat/fasilitas laboratorium pendukung, terutama fasilitas eksperimen instrumentasi dan digital untuk sistem reaktor nuklir. Agar diperoleh SDM yang handal maka diperlukan sertifikasi personal dan pemahaman akan standar nasional serta internasional.

Tujuan kegiatan adalah agar diperolehnya kemampuan sumber daya manusia dalam melakukan perekayasaan dan inovasi sistem instrumentasi kendali reaktor nuklir. Sasaran Akhir Kegiatan adalah diperolehnya paket teknologi sistem instrumentasi dan kendali serta Human Machine Interface reaktor nuklir tingkat Management Information System yang dapat mendukung litbangyasa BATAN dan memenuhi kebutuhan kalangan industri. Pada tahun kegiatan 2010 telah dapat diselesaikan perekayasaan system instrumentasi dan kendali yang diimplementasikan untuk simulator mekanik batang kendali [1]. Sedangkan sasaran Kegiatan Tahun 2011 adalah meningkatkan penguasaan dan hasil pengembangan teknologi perekayasaan sistem instrumentasi dan kendali reaktor nuklir.

2. TEORI

Instrumentasi merupakan pengetahuan dalam penerapan alat ukur dan sistem pengendalian pada suatu sistem dengan menggunakan harga numerik variabel besaran proses dan dengan tujuan agar parameter berada dalam batas daerah tertentu atau mencapai tujuan kinerja yang diinginkan.

Operasi di reaktor nuklir sangat bergantung pada pengukuran dan pengendalian besaran proses, misalnya aliran di dalam pipa, tekanan (pressure) di dalam sebuah vessel, temperatur di unit heat exchanger, serta tinggi permukaan (level) zat cair di sebuah tangki. Selain besaran proses tersebut, beberapa besaran proses lain yang cukup penting dan kadang-kadang perlu diukur dan dikendalikan oleh karena kebutuhan specific proses, diantaranya : *hydrogen ion concentration (pH), moisture content, conductivity, density or specific gravity, combustible content of flue gas, oxygen content of flue gas, chromatographic stream composition, nitrogen oxides emissions, calorimetry (BTU content)* dan sebagainya. Besaran-besaran ini ada yang perlu diukur secara online dan ada juga yang hanya diukur atau dianalisa di laboratorium.

Sistem pengendalian proses terdiri atas beberapa unit komponen antara lain ;

- sensor/transducer yang berfungsi menghasilkan informasi tentang besaran yang diukur,
- transmitter yang memproses informasi atau sinyal yang dihasilkan oleh sensor/transducer agar sinyal tersebut dapat ditransmisikan,
- kontroler yang berfungsi membandingkan sinyal pengukuran dengan nilai besaran yang diinginkan (set point) dan menghasilkan sinyal komando berdasarkan strategi control tertentu serta
- aktuator yang berfungsi mengubah masukan proses sesuai dengan sinyal

Pengukuran yang teliti dan sistem kontrol yang tepat akan menghasilkan nilai parameter sistem yang sesuai dengan harga perancangannya. Hal ini akan dapat menghemat biaya operasi



serta perbaikan keluaran. Beberapa hal yang termasuk dalam sistem instrumentasi dan kontrol meliputi :

- Karakterisasi proses.
- Sistem pengukuran.
- Pemrosesan data otomatis.
- Sistem pengontrolan dengan elemen kontrol akhir (*final control element*).

Keempat butir sistem instrumentasi dan kontrol tersebut di atas sudah dilakukan sejak awal oleh setiap orang yang ingin memperoleh harga tertentu dari suatu besaran fisika.

Pencegahan terhadap operasi abnormal dan kegagalan sistem dapat dilakukan dengan (a) menggunakan instrumentasi dan pengendalian yang terkait dengan keselamatan atau sering disebut sebagai *safety related instrumentation and control (I&C)* dan (b) memastikan keandalan integritas struktur, komponen dan sistem dari pengaruh operasi reaktor. *Safety related I&C* merupakan bagian dari sistem keselamatan yang menggunakan sistem instrumentasi dan pengendalian pada saat terjadi *malfuction* atau kegagalan yang dapat mengakibatkan paparan radiasi pada personil instalasi ataupun masyarakat luas. *Safety related I&C* meliputi semua alokasi sensor sampai sistem mekanik perangkat penggerakannya, antarmuka operator, dan peralatan pendukungnya. Termasuk di dalam sistem ini adalah sistem pengendalian reaktor, I&C dalam ruang kendali utama, sistem untuk memonitor dan mengendalikan pendinginan reaktor, monitoring radiasi, perangkat komunikasi, serta perangkat pendukung lain. Fungsi penting instrumentasi dan pengendalian adalah untuk memastikan keselamatan dan efisiensi operasi suatu reaktor nuklir.

Terdapat berbagai jenis sistem monitoring dan pengendalian di dalam reaktor riset maupun pembangkit daya nuklir seperti PWR. Sistem tersebut memiliki fungsi utama untuk menunjukkan status instalasi dan informasi proses. Sinyal tersebut merupakan masukan untuk sistem kendali, anunsiasi status dan aktivasi sistem yang penting untuk keselamatan dan sistem yang lain.

Pada pemodelan sistem diinginkan suatu model reaktor riset yang mengambil model RSG GA Siwabessy 30 MW. Untuk pemodelan diperoleh :

- Model neutronik menggunakan pendekatan persamaan difusi multigroup sebagai berikut

$$\frac{1}{v_g} \frac{\partial \phi_g(\vec{r}, t)}{\partial t} - \vec{\nabla} \cdot D_g(\vec{r}) \vec{\nabla} \phi_g(\vec{r}, t) + \Sigma_{tg}(\vec{r}) \phi_g(\vec{r}, t) = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{sg'}(\vec{r}) \phi_{g'}(\vec{r}, t) + \frac{\chi_g}{k_{eff}} \sum_{g'=1}^G v_{g'} \Sigma_{fg'}(\vec{r}) \phi_{g'}(\vec{r}, t) \quad (pers-1)$$

Model termohidrolika teras adalah sebagai berikut :

$$q'''(\vec{r}) = E_f \Sigma_f \phi(\vec{r}) \quad (pers-2)$$

dimana $q'''(\vec{r}) \equiv$ kerapatan daya volumetric (Watt/cm³)

$E_f \equiv$ energi yang dilepaskan pada satu reaksi fisi (Joule)

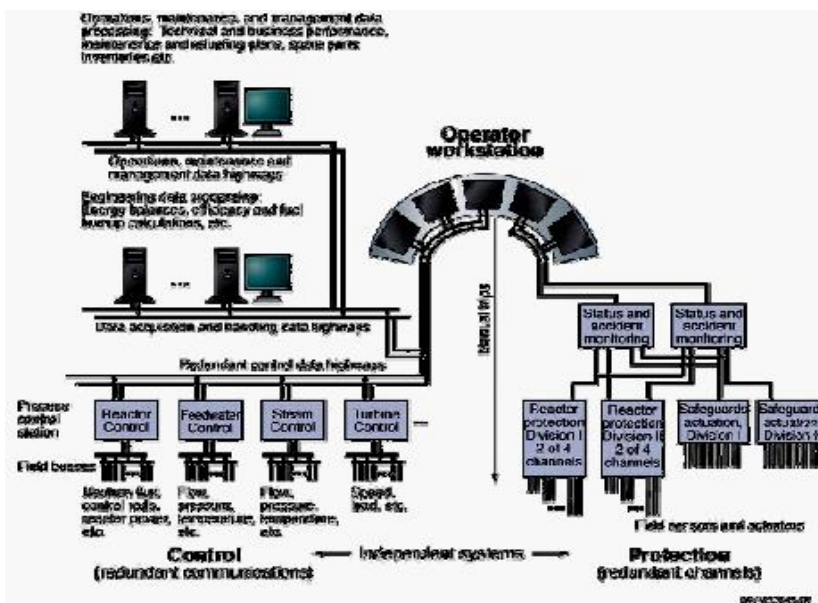
$\Sigma_f \equiv$ tampang lintang makroskopik fisi (cm⁻¹)

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa sistem instrumentasi dan kendali pada reaktor nuklir mengelola input-output ke dan dari reaktor yang bertujuan untuk dapat menjamin proses dalam reaktor dapat memberikan kinerja seperti yang diinginkan dan memiliki tingkat keselamatan sesuai yang diharapkan. Untuk mendukung penguasaan teknologi instrumentasi dan kendali pada reaktor nuklir secara integratif, maka pada kegiatan perekayasaan instrumentasi dan kendali pada reaktor riset dibangun jaringan. sistem digital ke reaktor nuklir bertujuan untuk membuat sistem lebih efisien dengan performansi yang lebih tinggi.

Untuk tahun-tahun mendatang, ke dalam sistem akan diintegrasikan sistem kontrol dan sistem proteksi serta management information system. Fasilitas ini merupakan tahap awal dari



langkah penguasaan sistem instrumentasi dan kontrol digital pada reaktor riset. Untuk peningkatan kemampuan SDM dalam kegiatan terkait dilakukan pelatihan/sertifikasi dan diseminasi hasil perekayasaan di tingkat nasional dan internasional.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Instrumentasi dan kendali pada Reaktor Nuklir

3. METODOLOGI

Metodologi yang dipergunakan adalah melakukan perekayasaan sistem instrumentasi dan kendali reaktor riset dan daya dibagi dalam beberapa tahap yaitu melakukan (a) desain, (b) pembuatan, dan (c) pengujian untuk sistem instrumentasi dan kendali reaktor riset dan model sistem pendingin primer reaktor riset sebagai reference plant. Metodologi yang dipergunakan adalah melakukan rancang bangun fasilitas, pemahaman standar, serta sertifikasi SDM. Untuk rancang bangun akan dibagi dalam beberapa tahap yaitu melakukan (a) desain, (b) konstruksi, dan (c) pengujian untuk sistem instrumentasi dan kendali reaktor riset dan model sistem pendingin primer reaktor riset sebagai reference plant. Untuk kegiatan terkait pemahaman standar akan dilakukan pengadaan standar nasional dan internasional terkait instrumentasi dan kendali reaktor.

Dalam kegiatan terkait reaktor riset akan dilakukan desain dan konstruksi fasilitas eksperimental terkait implementasi instrumentasi dan kontrol digital di sistem pendingin primer reaktor riset. Untuk implementasi sistem digital akan diintegrasikan smart I/O ke dalam remote terminal unit yang direpresentasikan ke dalam jaringan komputer DCS. Implementasi sistem digital dan jaringan ke reaktor nuklir bertujuan untuk membuat sistem lebih efisien dengan performansi yang lebih tinggi. Untuk tahun-tahun mendatang, ke dalam sistem akan diintegrasikan sistem kontrol dan sistem proteksi serta management information system. Fasilitas ini merupakan tahap awal dari langkah penguasaan sistem instrumentasi dan kontrol pada reaktor riset.

Ruang lingkup kegiatan secara garis besar adalah melakukan beberapa tahap yaitu melakukan (a) desain, (b) konstruksi, dan (c) pengujian untuk sistem instrumentasi dan kendali reaktor riset dimana model sistem pendingin primer reaktor riset dipergunakan sebagai *reference plant*.

Analisis sistem monitoring dan pengendalian secara digital pada reaktor nuklir dilakukan dengan cara menganalisis (a) jenis-jenis transduser, prinsip pengukuran dan metode yang dipergunakan, (b) transformasi pengkondisian sinyal dan transmisinya untuk memastikan tidak adanya kesalahan dalam antarmuka dengan unit lain. Modul/prototype yang sudah dibuat melalui perekayasaan dan inovasi kemudian diuji dalam laboratorium dan hasilnya dianalisis untuk memperbaiki performansi modul/prototipe tersebut.

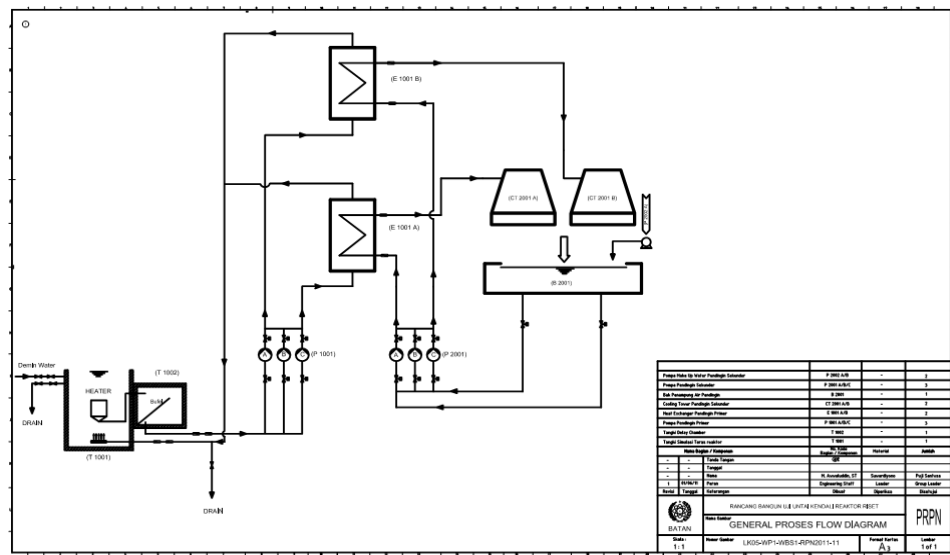


Kegiatan yang direncanakan akan dilakukan di Laboratorium yang terletak di PRPN-Serpong. Untuk meningkatkan kemampuan SDM akan dilakukan pelatihan, diseminasi serta mengikuti presentasi ilmiah

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

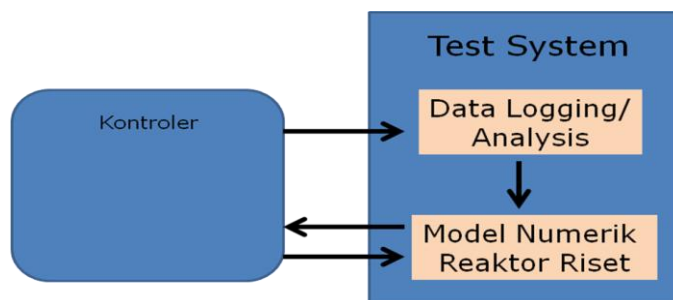
Pada gambar 2 dapat dilihat teras reaktor nuklir disimulasikan dalam sebuah tangki yang dilengkapi dengan sistem pemanas yang mana tangki tersebut diisi dengan air bebas mineral sesuai persyaratan pendinginan reaktor. Di dalam tangki air dipanaskan sampai mencapai suhu 50 °C sesuai suhu teras reaktor karena panas peluruhan. Dari tangki ini air dipompa ke sistem penukar panas, dimana suhu outlet mencapai 40 °C sesuai suhu air pendingin masuk ke teras reaktor. Sistem uji untai ini dilengkapi dengan indikator level tangki, alat kontrol suhu dengan rentang kerja sampai 70 °C sesuai dengan kontrol suhu di reaktor, dan sistem valve yang dioperasikan dengan motor sesuai dengan sistem pendingin primer di reaktor RSG GAS.

Selanjutnya air pendingin yang keluaran dari alat penukar panas dialirkan ke sistem pendingin sekunder yaitu menara pendingin. Dalam menara pendingin, air pendingin didinginkan dengan kipas sehingga panas terbuang keluar. Setelah dingin, air pendingin ditampung dalam tangki penampung untuk digunakan lagi sebagai media pendingin sistem alat penukar panas. Dalam sistem pendingin sekunder ini dilakukan make-up air demin untuk mengganti air yang hilang, serta diinjeksikan bahan kimia anti alga, lumut agar air tetap terjaga kualitasnya.



Gambar 2. Process Flow Diagram Simulasi Reaktor

Untuk dapat mensimulasikan proses yang dikendalikan oleh sistem instrumentasi dan kendali yang sesuai seperti tampak pada gambar 2, maka dibuat perangkat simulasi elektronik untuk *local controller* dengan blok diagram seperti tampak pada Gambar 3. Pada gambar tampak bahwa sistem direpresentasikan dalam model reaktor riset numerik yang akan menerima masukan dari luar dengan menggunakan data logging. Local Controller dipergunakan untuk mengendalikan model reaktor nuklir agar mencapai kinerja seperti yang diinginkan.

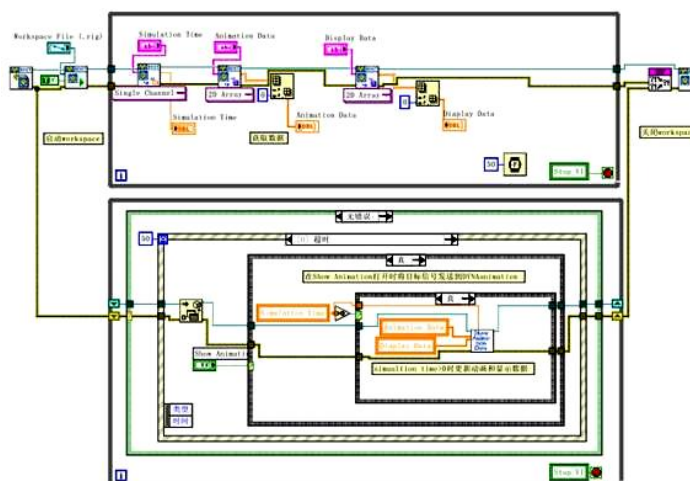


Gambar 3. Blok Diagram Konfigurasi Simulasi Sistem Instrumentasi dan Kendali Reaktor



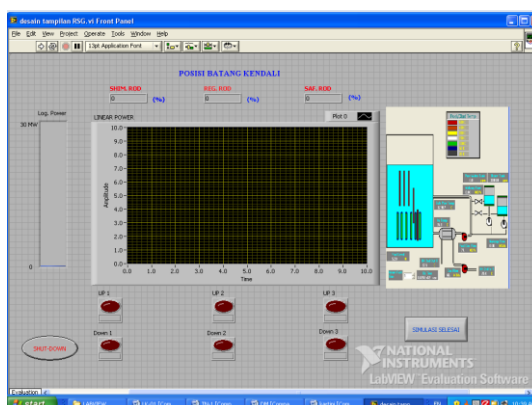
Gambar 4. Perangkat Keras Konfigurasi Simulasi Sistem Instrumentasi dan Kendali Reaktor [2]

Simulasi reaktor nuklir pada tingkat local controller diwujudkan menggunakan multifunction RIO module 200kS/sec yang dibangun di dalam NI PXI-1031 4-slot 3U chassis dan dilengkapi dengan komputer PC. Dalam konfigurasi ini komputer PC bertindak sebagai modul yang merepresentasikan model matematika reaktor nuklir dan perangkat keras berbasis NI sebagai kontroler. Untuk mendukung perangkat keras seperti tersebut di atas dikembangkan perangkat lunak berbasis ke pemrograman LabVIEW seperti tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Perangkat Lunak Konfigurasi Simulasi Sistem Instrumentasi dan Kendali Reaktor

Pada Gambar 6 dapat dilihat graphical user interface (GUI) dari modul yang telah dibangun yang menunjukkan proses yang ada di reaktor nuklir dan tampilan pendukungnya



Gambar 6. Graphical User Interface Perangkat Keras Konfigurasi Simulasi Sistem Instrumentasi dan Kendali Reaktor

5. KESIMPULAN

Perekayasa sistem instrumentasi dan kendali pada reaktor nuklir diaktualisasikan pada simulator elektronik berbasis multifunction RIO module 200kS/sec yang dibangun di dalam NI PXI-1031 4-slot 3U chassis dengan menggunakan pemrograman LabVIEW. Dalam konfigurasi ini komputer PC bertindak sebagai modul yang merepresentasikan model matematika reaktor nuklir dan perangkat keras berbasis NI sebagai kontroler Simulasi sinyal elektronik dapat diukur dari point pengukuran, dan luaran HMI dapat dilihat pada monitor PC. Kegiatan ini masih terus berlanjut.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dapat dilaksanakan dengan pendanaan dari DIPA PRPN tahun anggaran 2011. Oleh karena itu diucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dorongan.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Triyanto, J., Atmoko, DF Perekayasa Instrumentasi dan Kendali Reaktor Riset dan Daya. Laporan Kegiatan Pusat Perekayasa Perangkat Nuklir. 2010
- [2] National Instrument Manual Book. 2010